



July 02 2004

85

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 199 45 773 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 21 K 1/06**

②1 Aktenzeichen: 199 45 773.5  
②2 Anmeldetag: 24. 9. 1999  
④3 Offenlegungstag: 12. 4. 2001

DE 199 45 773 A 1

⑦1 Anmelder:  
GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH,  
21502 Geesthacht, DE

⑦4 Vertreter:  
Niedmers & Seemann, 22767 Hamburg

⑦2 Erfinder:  
Schubert, Dirk W., Dr., 21502 Geesthacht, DE;  
Pannek, Michael, 21502 Geesthacht, DE

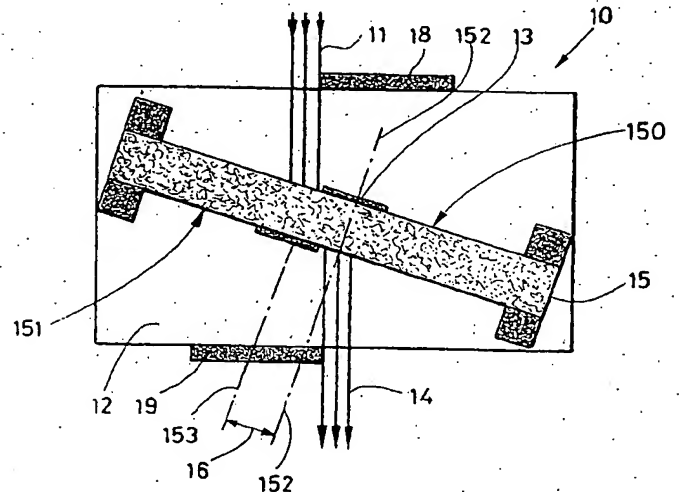
⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 44 02 113 A1  
DE 40 15 275 A1  
WO 96 37 898 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vorrichtung zum Monochromatisieren von Neutronen- oder Röntgenstrahlen

⑤7 Vorrichtung (10) zum Monochromatisieren von Neutronen- oder Röntgenstrahlen (11), umfassend wenigstens einen Monochromatorkristall (12), auf den die Neutronen- oder Röntgenstrahlen (11) gerichtet und nach der daran erfolgenden Reflexion als monochromatisierte Neutronen- und Röntgenstrahlen (14) abgegeben werden. Dabei ist der Monochromatorkristall (12; 13) auf der Oberfläche (150; 151) eines planparallelen, für Neutronen- oder Röntgenstrahlen (11, 14) durchlässigen Trägerelementes (15) angeordnet.



DE 199 45 773 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Monochromatisieren von Neutronen- oder Röntgenstrahlen; umfassend wenigstens einen Monochromatorkristall, auf den die Neutronen- oder Röntgenstrahlen gerichtet und nach der daran erfolgenden Reflexion als monochromatisierte Neutronen- oder Röntgenstrahlen abgegeben werden.

Aus geeigneten Elementen bestehende Kristallelemente werden in den verschiedensten wissenschaftlichen und technischen Bereichen eingesetzt, um für bestimmte Untersuchungen Neutronen- und Röntgenstrahlen zu monochromatisieren. Vorrichtungen der eingangs genannten Art können beispielsweise in Neutronenreflektometern und Kleinwinkelneutronenstreuanlagen zum Einsatz kommen, um auf optimale Weise deren Betriebsmodus verändern zu können. Beispielsweise kann durch die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Kleinwinkelstreuapparatur optional auf einfache Weise derart in der Auflösung verbessert werden, daß Reflexionsexperimente mit hoher Auflösung möglich sind.

Bisher wurden Vorrichtungen dieser Art durch sehr aufwendige, feinmechanische Vorrichtungen realisiert, die wiederum sehr aufwendige Justiereinrichtungen aufwiesen. Bei der Reflexion der Neutronen- und Röntgenstrahlen an dem Monochromatorkristall werden physikalisch die Bragg-Reflexionsbedingungen von Neutronen- oder Röntgenstrahlen am Kristallgitter des Monochromatorkristalls für die Monochromatisierung ausgenutzt. Insofern müssen die Netzebenen der Kristalle hochgenau relativ zu den einfallenden Neutronen- und Röntgenstrahlen justiert werden. Die vorgenannten feinmechanischen Justier Vorrichtungen, die dazu dienen, sind in der Herstellung nur sehr kostenträchtig realisierbar (Herstellungspreis > DM 10.000,-). Zudem sind die bekannten Vorrichtungen bzw. die Justier Vorrichtungen der bekannten Vorrichtungen bisweilen auch für die Untersuchung von Kleinwinkelstreuungen nicht in jedem Falle hinreichend genau und stabil, so daß dieser Nachteil sich zu den sehr hohen Herstellungskosten addiert. Zudem sind die bisherigen mechanischen Justier Vorrichtungen auch empfindlich in bezug auf äußere Einwirkungen, d. h. Erschütterungen, Umgebungstemperatur und Druck sowie Luftfeuchtigkeitsänderungen.

Es ist somit Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, mit der einerseits eine hochgenaue, weitgehend von Umgebungsparametern unabhängige Monochromatisierung von Neutronen- und Röntgenstrahlen möglich ist, mit der zudem beispielsweise vorhandene Monochromatorkristalle einer erneuten Verwendung zugeführt werden können, die verhältnismäßig einfach aufgebaut ist und kostengünstig realisiert werden kann.

Gelöst wird die Aufgabe gemäß der Erfindung dadurch, daß der Monochromatorkristall auf der Oberfläche eines planparallelen, für Neutronen- oder Röntgenstrahlen durchlässigen Trägerelementes angeordnet ist.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung liegt darin, daß diese einen äußerst geringen Justieraufwand benötigt, da letztlich nur ein planparalleles, für Neutronen- und Röntgenstrahlen durchlässiges Trägerelement erforderlich ist, auf dem der Monochromatorkristall auf dessen Oberfläche angeordnet ist. Ein derartiges planparalleles, für Neutronen- und Röntgenstrahlen durchlässiges Trägerelement ist einfach beschaff- und somit bereitstellbar, wobei dabei auf durch die Industrie angebotene Halbzeuge aus geeigneten Werkstoffen zurückgegriffen werden kann.

Bei der Monochromatisierung von Neutronen- oder Röntgenstrahlen unter den Bedingungen der Bragg-Reflexion entstehen normalerweise große Ablenkwinkel. Derartige

große Ablenkwinkel sind in vielen Fällen nicht realisierbar und in vielen Fällen auch unerwünscht, wenn beispielsweise große experimentelle Aufbauten, wie sie normalerweise bei Neutronenstreuungsexperimenten zu erwarten sind, realisiert werden müßten. Aus diesem Grunde ist es äußerst vorteilhaft, auf beiden Oberflächen des Trägerelementes jeweils ein Monochromatorkristall anzuordnen, wobei beide Monochromatorkristalle, bezogen auf deren jeweils gedachte Oberflächennormalen, die im wesentlichen mittig auf den Monochromatorkristallen (gedacht) anzuordnen sind, voneinander beabstandet sind. Eine derartige vorzugsweise Ausgestaltung der Vorrichtung bildet faktisch einen sogenannten Doppelkristallmonochromator, um die einfallenden Neutronen- und Röntgenstrahlen wieder in ihre ursprünglich Richtung zu zwingen, allerdings mit einem Versatz, bedingt durch die zweifache Reflexion am ersten Monochromatorkristall und am zweiten Monochromatorkristall. Durch das planparallele Trägerelement sind die Monochromatorkristalle fortwährend parallel ausgerichtet, wobei das Trägerelement, wie oben schon angedeutet, so ausgewählt wird, daß Neutronen- und Röntgenstrahlen ohne signifikante Abschwächung durch das Trägerelement hindurchgehen können.

Vorzugsweise besteht das Trägerelement aus einem Halbleiterwerkstoff, beispielsweise vorzugsweise aus Silizium bzw. vorzugsweise aus Germanium. Halbleiterwerkstoffe der voraufgeführten Art zeigen eine geringe Durchlaßdämpfung für Neutronen- und zumindest hochenergetische Röntgenstrahlen, die vernachlässigbar klein ist und bei Experimenten mit Neutronen- und zumindest hochenergetischen Röntgenstrahlen faktisch nicht signifikant in Erscheinung tritt. Zudem sind Halbleiterwerkstoffe zumindest in undotierter Form sehr kostengünstig bereitstellbar und werden in großen Mengen in der Halbleiterindustrie zur Herstellung von Wafern verwendet, aus denen dann elektronische Bauelemente wie integrierte Schaltkreise und dergleichen hergestellt werden.

Da somit planparallele scheibenförmige Elemente zur Ausbildung der erfindungsgemäß verwendeten Trägerelemente als Vorprodukte bzw. Halbzeuge industriell angeboten werden und somit zur Verfügung stehen, ist es äußerst vorteilhaft, als Trägerelemente beispielsweise Wafer-Scheiben zu verwenden, die eine hohe Oberflächenparallelität aufweisen und ebenfalls Oberflächenstrukturen, die eine unmittelbare Reflexionsbeeinflussung darauf auffallender Neutronen- und zumindest hochenergetischer Röntgenstrahlen faktisch ausschließen. Ferner werden die industriellen Bearbeitungstechnologien (z. B. Polieren) von Siliziumwafern beherrscht, so daß auch exakt planparallel polierte Siliziumwafer kostengünstig erhältlich sind.

Als Monochromatorkristall eignen sich grundsätzlich alle Elemente, die ein ausreichend großes Reflexionsverhalten unter der Bragg'schen Reflexionsbedingung zeigen.

Insbesondere vorteilhaft ist es, als Monochromatorkristall Graphit zu verwenden.

Um in Abhängigkeit der gewünschten Wellenlänge der Neutronen- und Röntgenstrahlen eine optimale Position der Monochromatorkristalle relativ zueinander einstellen zu können, da sich der Bragg'sche Winkel mit der Wellenlänge ändert, ist es vorteilhaft, wenigstens einen Monochromatorkristall relativ zu dem anderen Monochromatorkristall zur Veränderung deren Abstandes voneinander verschiebbar auszubilden. Auf diese Weise ist es leicht möglich, die optimale Position der Monochromatorkristalle in Abhängigkeit der Wellenlänge einzustellen. Da es sich nur um eine parallele Verschiebung relativ zu den beiden planparallelen Oberflächen des Trägerelementes handelt und dabei keine Kippung bzw. Verstimmung der Monochromatorkristalle mit ih-

ren Reflexionsflächen aufeinander zu- bzw. voneinander weg handelt, ist eine derartige Verschiebbarkeit auch mit sehr einfachen technischen Mitteln bewirkbar.

Die Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die nachfolgenden schematischen Zeichnungen anhand eines Ausführungsbeispiels im einzelnen beschrieben. Darin zeigen:

**Fig. 1** in Form eines Blockaufbaus eine Draufsicht auf die Vorrichtung und

**Fig. 2** ein gemessenes Transmissionsverhalten der Vorrichtung als Funktion des Einfallswinkels von auf die Vorrichtung gerichteter Neutronenstrahlen.

Es wird zunächst Bezug genommen auf die Darstellung gemäß **Fig. 1**. Die Vorrichtung **10** besteht bei der in der Figur dargestellten Ausführungsform aus einem für Neutronen- und Röntgenstrahlen **11**, **14** durchlässigen Trägerelement **15**, das beispielsweise für Neutronen aus einem handelsüblich beziehbaren bzw. bereitstellbaren Silizium-Wafer bestehen kann, der eine hohe Planparallelität beider Oberflächen **150**, **151** aufweist. Das Trägerelement **15** ist, bezogen auf die Darstellung der **Fig. 1**, um eine hier nicht gesondert dargestellte Achse, die in Lotrichtung zur Grundplatte **17** ausgebildet ist, drehbar. Auf beiden Oberflächen **150**, **151** des Trägerelementes **15** ist jeweils ein Monochromatorkristall **12**, **13**, der beispielsweise aus Graphit bestehen kann, angeordnet. Beide Monochromatorkristalle **12**, **13** sind, bezogen auf deren jeweils gedachte Oberflächennormalen **152**, **153**, die in Lotrichtung auf die Oberflächen **150**, **151** des Trägerelementes **15** ausgerichtet sind, voneinander beabstandet **16**. Wenigstens einer der Monochromatorkristalle **12**, **13** ist relativ zu dem anderen Monochromatorkristall **12**, **13** über hier nicht dargestellte Verschiebungs- und Führungsmittel verschiebbar. Dadurch kann deren Abstand **16** voneinander, bezogen beispielsweise auf die schon erwähnten Oberflächennormalen **152**, **153**, verändert werden. Dieses ist für bestimmte Fälle erforderlich. Die Veränderung der Wellenlängen der Neutronen- und Röntgenstrahlen **12**, **13** haben eine Veränderung der Braggwinkel zur Folge. Durch die Veränderung kann somit dieser veränderten Wellenlänge durch Veränderung der Position der Monochromatorkristalle **12**, **13** Rechnung getragen werden.

Zum Betrieb der Vorrichtung **10** werden von einer Neutronen- bzw. Röntgenquelle (nicht dargestellt) kommende Neutronen- bzw. Röntgenstrahlen **11** auf einen geeigneten Einfallswinkel zwischen Oberfläche **150**, **151** des Trägerelementes **15** bzw. den darauf flächenparallel angeordneten Monochromatorkristall **12** gedreht. Am Monochromatorkristall **12** werden die darauf einfallenden Neutronen- bzw. Röntgenstrahlen **11** reflektiert und auf den zweiten Monochromatorkristall **13** gerichtet, von wo die Neutronen- und Röntgenstrahlen wiederum unter Bragg-Bedingungen reflektiert und als reflektierte Neutronen- bzw. Röntgenstrahlen **14** aus der Vorrichtung **10** im wesentlichen in der gleichen Richtung wie die auf die Vorrichtung gerichteten eintretenden Neutronen- bzw. Röntgenstrahlen **11** austreten. Durch Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung entfällt die bisher notwendige aufwendige Justier Vorrichtung, die bei den bisherigen Doppelkristallmonochromatoren zur Parallelisierung der Netzebenen der beiden Monochromatorkristalle notwendig war. So ist jetzt nur noch eine Richtung, die Richtung des gesamten Doppelkristallmonochromators zum Neutronen- oder Röntgenstrahl zu justieren.

Im Fall des Doppelkristallmonochromators müssen zusätzlich die Netzebenen bzw. Kristalloberflächen der beiden Monochromatorkristalle hochgenau parallel zueinander justiert werden. Die physikalischen Mechanismen der Monochromatisierung einer Reflexion am Kristallgitter unter Bragg-Bedingungen sind der Fachwelt ansonsten bekannt

und brauchen hier nicht weiter erörtert zu werden.

Vorzugsweise werden die auf die Vorrichtung **10** gerichteten Neutronen- bzw. Röntgenstrahlen **11** mittels eines Kollimators **18** im Strahlquerschnitt begrenzt, was ebenfalls bezüglich der reflektierten Neutronen- bzw. Röntgenstrahlen **14** mittels eines zweiten Kollimators **19** geschehen kann. Der Kollimator kann als Strahlabsorber ausgebildet sein.

Der Werkstoff des Trägerelementes **15**, beispielsweise in Form eines Halbleiterwerkstoffs, ist derart ausgewählt, daß eine werkstoffbedingte Dämpfung der Durchtrittsintensität der Neutronen- bzw. Röntgenstrahlen **11** vernachlässigbar klein ist.

Mittels eines Versuches wurde die Funktionsfähigkeit der Vorrichtung **10** in bezug auf das Transmissionsverhalten gegenüber bereits kollimierter und monochromatisierter Neutronenstrahlen bei einer Wellenlänge von  $0,43 \text{ nm}$  untersucht, und zwar als Funktion des Einfallswinkels. Es wurde dabei ein maximaler Transmissionsgrad von  $25\%$ , vergleiche **Fig. 2**, erhalten. Es ergab sich eine schmale Transmissionskurve entsprechend der Mosaikverteilung der Monochromatorkristalle **12**, **13**. Aus **Fig. 2** ist der Winkel  $2^\circ$  ersichtlich, der dem optimalen Arbeitswinkel entspricht (Einfallswinkel des Neutronenstrahls **11** = Braggwinkel der Monochromatorkristalle **12**, **13**). Ein über die ermittelte maximale Transmission von  $25\%$  hinausgehender Wert war aufgrund der Art der verwendeten Monochromatorkristalle **12**, **13** nicht möglich.

#### Bezugszeichenliste

- 10** Vorrichtung
- 11** Neutronen- und Röntgenstrahlen (einfallend)
- 12** Monochromatorkristall
- 13** Monochromatorkristall
- 14** Neutronen- und Röntgenstrahlen (reflektiert)
- 15** Trägerelement
- 150** Oberfläche (Trägerelement)
- 151** Oberfläche (Trägerelement)
- 152** Oberflächennormale
- 153** Oberflächennormale
- 16** Abstand
- 17** Grundplatte
- 18** Kollimator
- 19** Kollimator

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Monochromatisieren von Neutronen- oder Röntgenstrahlen, umfassend wenigstens einen Monochromatorkristall, auf den die Neutronen- oder Röntgenstrahlen gerichtet und nach der daran erfolgenden Reflexion als monochromatisierte Neutronen- oder Röntgenstrahlen abgegeben werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Monochromatorkristall (**12**; **13**) auf der Oberfläche (**150**; **151**) eines planparallelen, für Neutronen- oder Röntgenstrahlen (**11**, **14**) durchlässigen Trägerelementes (**15**) angeordnet ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß auf beiden Oberflächen (**150**, **151**) des Trägerelementes (**15**) jeweils ein Monochromatorkristall (**12**, **13**) angeordnet ist, wobei beide Monochromatorkristalle (**12**, **13**), bezogen auf deren jeweils gedachte Oberflächennormalen (**152**, **153**), voneinander beabstandet sind.
3. Vorrichtung nach einem oder beiden der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Trägerelement (**15**) aus einem Halbleiterwerkstoff besteht.
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß der Halbleiterwerkstoff Silizium ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Halbleiterwerkstoff Germanium ist.

6. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Träger-  
element aus einer Wafer-Scheibe herstellbar ist.

7. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Monochromatorkristall (12; 13) aus Graphit besteht.

8. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Monochromatorkristall (12; 13) relativ zu dem anderen Monochromatorkristall (12; 13) zur Veränderung deren Abstandes (16) voneinander verschiebbar ist.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

Fig. 1

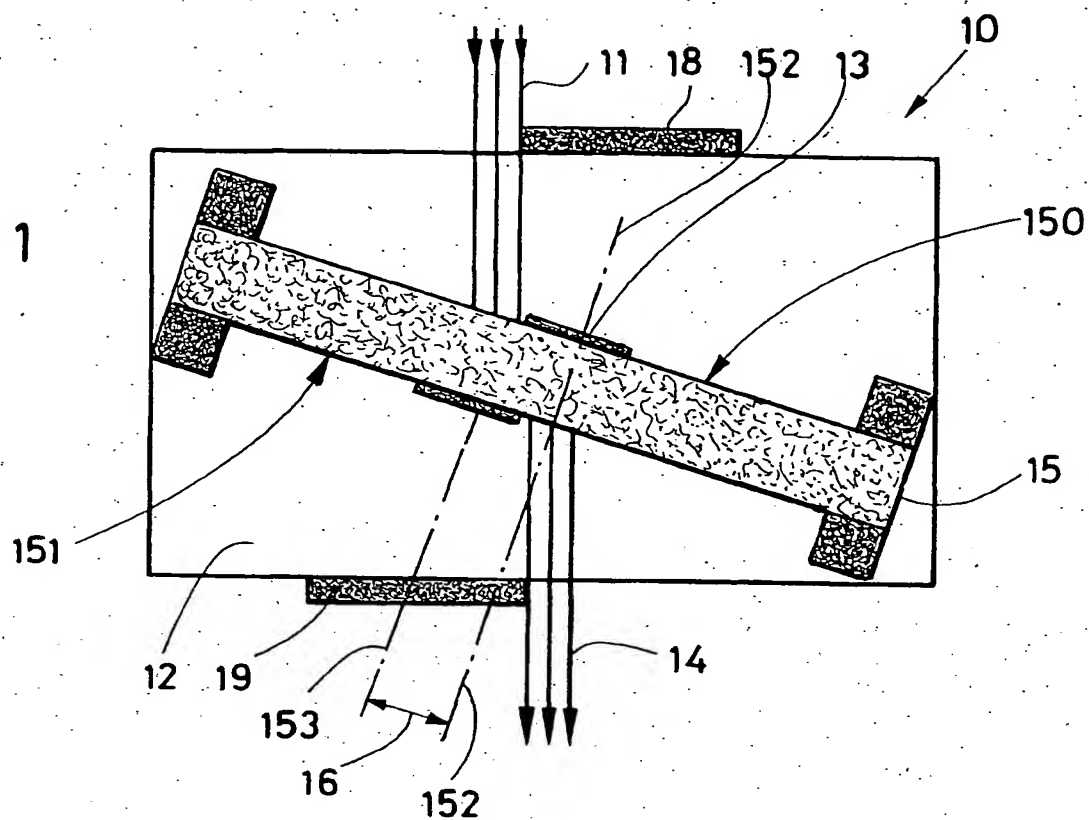
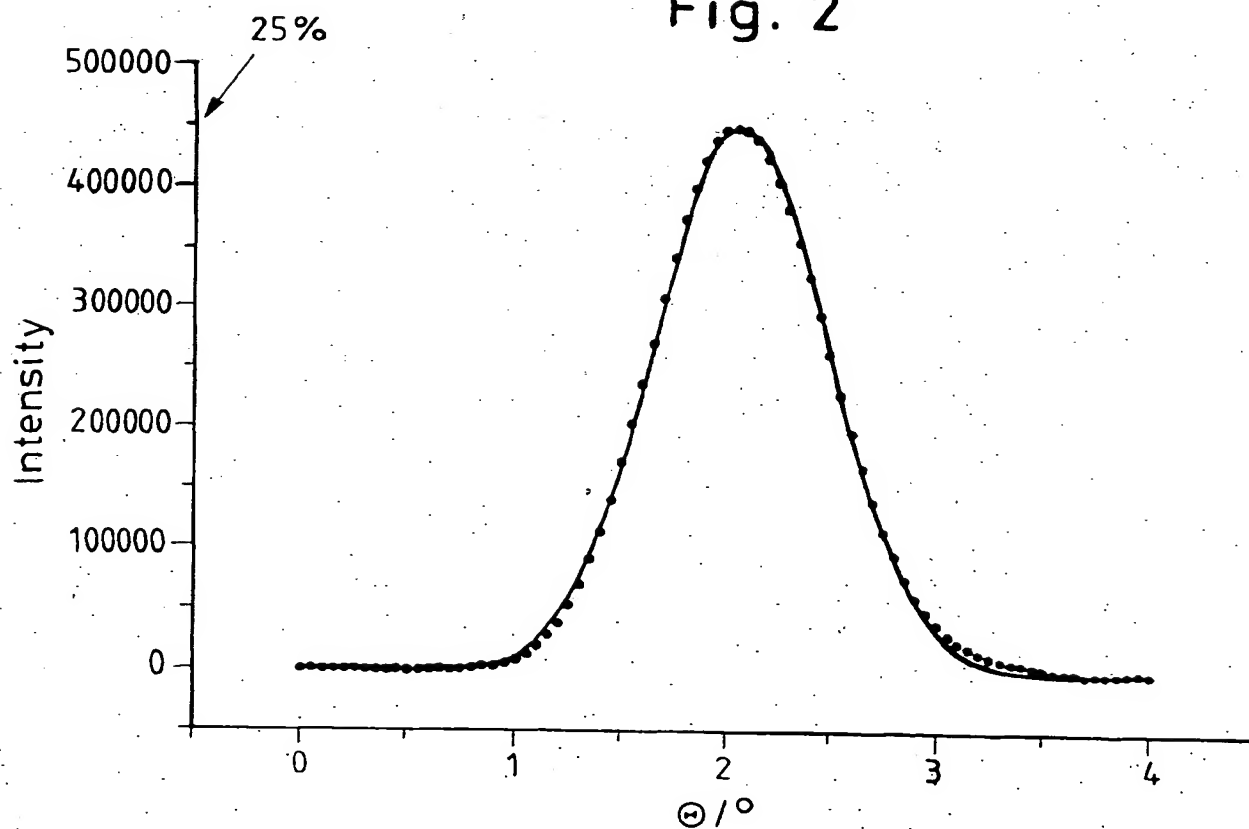


Fig. 2



2/9/1

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI  
(c) 2004 Thomson Derwent. All rts. reserv.

013807780 \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 2001-291992/\*200131\*  
XRAM Acc No: C01-089719  
XRPX Acc No: N01-208580

Apparatus for monochromatizing neutrons or X-ray beams comprises a  
monochromator crystal arranged on the surface of a plane parallel support  
element that is permeable to neutrons and X-ray beams

Patent Assignee: GKSS FORSCHUNGSZENTRUM GEESTHACHT GMBH (KNVS )

Inventor: PANNEK M; SCHUBERT D W

Number of Countries: 001 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 19945773	A1	20010412	DE 1045773	A	19990924	200131 B
DE 19945773	C2	20020207	DE 1045773	A	19990924	200212

Priority Applications (No Type Date): DE 1045773 A 19990924

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
DE 19945773	A1		5	G21K-001/06	
DE 19945773	C2			G21K-001/06	

Abstract (Basic): \*DE 19945773\* A1

NOVELTY - Apparatus comprises a monochromator crystal (12) on which  
neutrons or X-rays (11, 14) are directed and reflected as  
monochromatized neutrons or X-ray beams. The crystal is arranged on the  
surface (150) of a plane parallel support element (15) that is  
permeable to neutrons and X-ray beams.

DETAILED DESCRIPTION - Preferred Features: The support element is  
made of a semiconductor material, preferably silicon or germanium, and  
is produced from a wafer. The crystal is made of graphite.

USE - For monochromatizing neutrons or X-ray beams.

ADVANTAGE - The apparatus has a simple design.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The drawing shows a top view of the  
apparatus.

neutrons or X-rays (11, 14)  
monochromator crystal (12)  
support element (15)  
surface of support element (150)  
pp; 5 DwgNo 1/2

Title Terms: APPARATUS; NEUTRON; RAY; BEAM; COMPRISE; MONOCHROMATOR;  
CRYSTAL; ARRANGE; SURFACE; PLANE; PARALLEL; SUPPORT; ELEMENT; PERMEABLE;  
NEUTRON; RAY; BEAM

Derwent Class: K08; V05

International Patent Class (Main): G21K-001/06

File Segment: CPI; EPI

Manual Codes (CPI/A-N): K08-E

Manual Codes (EPI/S-X): V05-E08

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**